Série technique 00-128

# Détérioration des ouvrages de stationnement : Enquête et analyse de l'étendue et des facteurs contributifs

## INTRODUCTION

En 1981, la SCHL a commandé une étude visuelle de 84 ouvrages de stationnement contigus à des immeubles d'appartements de la région d'Ottawa. Elle en a ensuite publié les résultats dans un rapport intitulé « Détérioration des garages de stationnement étagés : considérations sur l'étendue, les causes et la réparation ». Il s'agissait du premier rapport du genre au Canada. À la suite de cette étude, la SCHL, le Conseil national de recherches du Canada ainsi que Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC) se sont mis d'accord pour réaliser conjointement une étude complémentaire qui avait pour objectifs de :

- découvrir les facteurs qui influent favorablement sur la tenue en service des ouvrages de stationnement;
- signaler les stratégies de réparation efficientes;
- faire état de méthodes d'exploitation et d'entretien qu'il convient de mettre en œuvre après les réparations; et
- fournir les renseignements pertinents aux comités de rédaction des codes et normes.

## PROGRAMME DE RECHERCHE

L'étude portait sur l'examen et l'analyse de l'étendue de la détérioration, ainsi que sur ses facteurs contributifs, dans plus de 300 garages de stationnement (voir le tableau 1). Les examens visuels ont été réalisés à l'aide d'un formulaire simplifié pour enquête sur place. Bien qu'on ait proposé à l'origine un formulaire très détaillé, celui-ci s'est avéré trop encombrant lors d'essais pratiques.

Les examens exhaustifs ont été menés sur 10 % de l'aire des dalles suspendues, à des endroits qui étaient représentatifs de leur état général. Les travaux sur le terrain ont été réalisés par étapes :

1. **Quadrillage :** On a utilisé un module de 2 m sur 2 m pour quadriller la surface d'essai, les colonnes et les murs périmétriques servant de points de référence.
2. **Délaminage du béton :** Les chercheurs ont examiné la zone d'expérimentation en traînant une chaîne pour déceler le béton délaminé. Il s'agit d'un simple essai sonore qui consiste à traîner une grosse chaîne en acier sur une dalle en vue de déceler les zones délaminées grâce au son caractéristique ainsi produit.

Tableau 1

| Série | Nombre d'ouvrages | Nombre d'ouvrages examinés | Remarques |
|---|---|---|---|
| **A** | 16 | 16 | Ouvrages compris dans l'étude initiale menée par la SCHL sur 84 garages de stationnement. On estimait le coût des réparations à moins de 100 $ par place pour 16 garages sur 20. Ces ouvrages ont fait l'objet d'inspections visuelles. |
| **B** | 4 | 4 | Relevés détaillés de l'état d'ouvrages souterrains et hors sol, y compris des complexes à bureau et commerciaux dans la région d'Ottawa et de Montréal ainsi qu'un ouvrage en béton précontraint en post-tension à Toronto. |
| **C** | 11 | 11 | Ouvrages de stationnement sélectionnés par la SCHL et TPSGC afin d'y contrôler l'efficacité des réparations, notamment dans des stationnements souterrains et hors sol attenants à des collectifs d'habitation, des hôpitaux et des bâtiments commerciaux situés à Toronto, Ottawa, Hull, Kitchener, Hamilton, London et Montréal. Dans le rapport, on a regroupé par catégorie les produits utilisés pour réparer chacun des garages. |
| **D** | 11 | 11 | Quand il est devenu difficile de trouver des garages souterrains étagés libres de dommages, on a ajouté les ouvrages de stationnement hors sol inspectés visuellement, et jugés en bon état. |
| **E** | 22 | 22 | En 1982, la Société de logement de l'Ontario a mené une enquête sur ses 159 ouvrages de stationnement puis les a classés sur une échelle de 1 (aucune détérioration importante) à 10 (détérioration très avancée). On a procédé à l'examen visuel de 22 des ouvrages qui ont obtenu une cote de 1 ou 2 dans l'étude de 1982. |
| **F** | 3 | 3 | Il s'agit des trois seuls ouvrages qu'on ait trouvés en bonne condition sur une population de 100 ouvrages de stationnement inspectés durant l'été 1983 à la demande du commissaire de la construction de la ville de North York. |
| Base de données de Trow | 175 | | Ces ouvrages de stationnement ont fait l'objet d'examens réalisés par Trow Ltd., pour le compte de clients privés. Ces examens, qui pouvaient aller d'une inspection visuelle sommaire à un examen exhaustif, ont servi de balise aux différents aspects de l'étude dont il est question ici. |
| Autres ouvrages du groupe de la SCHL | 68 | | Il s'agit ici des autres ouvrages compris dans l'examen par la SCHL de 84 structures, mais non inclus dans les 16 ouvrages de la série « A » ci-dessus. |
| **Totaux** | **310** | **67** | |

3. **Inspection visuelle :** Cette étape de l'examen exhaustif consistait à localiser sur un plan les fissures, le béton écaillé et celui sur le point de s'écailler, l'acier d'armature exposé, la présence de lixiviation et les nids de cailloux sur la sous-face des dalles suspendues et en surface des zones examinées.

4. **Relevé avec demi-pile :** On a effectué un relevé de l'activité de corrosion sur la zone d'expérimentation à l'aide d'une demi-pile cuivre-sulphate de cuivre suivant la norme ASTM C876, Half-Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete. La méthode consiste à attacher un fil à une tige d'acier d'armature exposée et nettoyée, et de le raccorder à partir de ce point, en passant par un voltmètre, à une demi-pile placée à chaque point d'intersection du quadrillage. On estime l'activité de corrosion dans l'acier d'armature en fonction du potentiel de tension produit.

5. **Relevé au pachomètre :** À l'aide de cet instrument qui réagit aux métaux ferreux, on détecte par ondes électromagnétiques l'épaisseur approximative de l'enrobage du béton recouvrant l'acier d'armature supérieur des zones d'expérimentation.

6. **Examen des composants :** Les chercheurs ont effectué un examen visuel des composants autres que les dalles suspendues des ouvrages de stationnement.

7. **Carottage :** Pour prélever des carottes de 100 mm de diamètre, y compris celles nécessaires pour les essais avec demi-pile, on s'est servi d'une foreuse à couronne diamantée. Les carottes ont permis de déterminer le taux de chlorures présents dans le béton et la résistance en compression du béton, de vérifier la présence de béton délaminé dans la dalle, de réaliser le contact électrique avec l'acier d'armature aux fins du relevé de l'activité de corrosion, de vérifier l'état de l'acier d'armature et de trouver le pourcentage d'air occlus dans le béton.

## RÉSULTATS

### Facteurs influant sur la tenue en service

Les ouvrages de la série « A », inclus dans l'étude parce qu'ils comportaient peu de dommages, voire aucun, affichaient tous des caractéristiques semblables. Ces ouvrages étaient généralement de faible dimension et étaient dotés d'une dalle sur terre-plein mais étaient dépourvus de dalles suspendues.Toutes ces structures étaient de faible dimension et comportaient un stationnement sur le toit comptant de 1 à 150 places. Onze d'entre elles étaient munies d'une membrane imperméable, tandis que trois stationnements étaient dotés de toits partiellement ou entièrement aménagés. Les toits témoignaient de bonnes pratiques d'imperméabilisation et comportaient des solins et des dispositifs de drainage appropriés.

Les ouvrages de la série « E » ont montré que les problèmes des garages souterrains sont surtout attribuables aux dalles suspendues, car là où elles sont absentes, les problèmes sont presque inexistants. En outre, bien que les toits soient souvent une source de problèmes graves, les problèmes sont beaucoup moins importants lorsqu'il est interdit d'y stationner. Enfin, le présent relevé fournit des preuves raisonnables qu'il existe un lien, quoique non quantifiable, entre la fréquence d'utilisation et l'étendue ainsi que le taux de détérioration.

Trois ouvrages de la série « F », qu'on supposait en bon état, ont été jugés dans un état allant d'acceptable à mauvais. Il faut toutefois s'intéresser au fait que, même sans traitement d'imperméabilisation, les garages de stationnement ont affiché une durée utile de 19 à 22 ans avant de nécessiter une réhabilitation majeure. On a construit ces ouvrages avant l'avènement des calculs à la rupture ou des calculs aux états limites. Les calculs à la rupture, qui ont remplacé les calculs aux contraintes admissibles vers 1970, autorisent une quantité moindre d'acier d'armature dans les dalles, d'où l'apparition de fissures plus larges qu'auparavant. On a découvert que les ouvrages de stationnement construits avant l'avènement des calculs à la rupture étaient plus résistants que ceux construits ultérieurement.

Un ouvrage en béton précontraint en post-tension coulé sur place était toujours en excellent état 11 ans après sa construction. On a donc conclu qu'une telle structure construite selon les bonnes pratiques et bien entretenue (comportant notamment l'application périodique d'un bouche-pores) pourrait présenter une durée utile raisonnable avec un minimum d'entretien. (On a découvert depuis que ces ouvrages aussi peuvent subir une détérioration importante : la recherche se poursuit donc dans le domaine des techniques d'évaluation des bâtiments en béton précontraint en post-tension.)

Les résultats des séries « B » et « C » ont été comparés aux balises établies à partir de la base de données de Trow, et on en a tiré les conclusions suivantes.

**Fissuration :** D'un point de vue subjectif, la plupart des ouvrages de stationnement semblaient très largement fissurés.Toutefois, lorsque l'étendue des fissures a été évaluée à l'aide de critères objectifs, la fréquence des fissures s'est avérée moins importante qu'on l'avait d'abord cru. On en a conclu que les dalles des garages

ne comportaient pas autant de fissures qu'on le supposait communément. Au moment de l'étude, l'effet des fissures sur la corrosion n'était pas encore bien compris, l'une des théories voulant que les fissures aient peu d'effet sur la corrosion. (On a découvert depuis que, si les fissures avaient peu d'effet sur la corrosion de l'acier d'armature supérieur, elles avaient toutefois un effet marqué sur la corrosion de l'acier d'armature inférieur. Les fissures les plus importantes se produisent à mi-portée entre les colonnes, à l'endroit même où se trouve l'acier d'armature inférieur. L'eau riche en chlorure qui s'infiltre par les fissures cause la corrosion de l'acier d'armature inférieur.)

**Écaillage :** L'écaillage des dalles n'était pas sévère, et ne constituait pas un facteur significatif dans l'évaluation globale de l'état des structures examinées dans l'étude dont il est question ici. (Depuis la publication de cette étude, le béton des dalles comporte généralement de l'air occlus, ce qui diminue la probabilité d'écaillage du béton.)

**Délaminage :** Dans la majorité des dalles, le béton ne se délamine qu'en présence d'acier d'armature en position supérieure, ce qui implique qu'une partie seulement de la dalle peut être touchée. La quantité de béton délaminé augmente dans le temps, et le taux d'augmentation est très variable. Les facteurs qui influent sur le taux d'augmentation n'ont pas été déterminés quantitativement, mais on suppose généralement que la fréquence d'utilisation, l'épaisseur de l'enrobage, l'humidité, la température et la qualité du béton constituent des facteurs déterminants. (Le délaminage constitue le problème le plus aigu auquel doivent faire face les propriétaires d'ouvrages de stationnement. Nombre d'entre eux en sont maintenant rendus à leur seconde ou troisième série de réparations.)

**Enrobage :** Les ouvrages en bon état étaient caractérisés par un enrobage adéquat et uniforme du béton. L'épaisseur spécifiée de l'enrobage pour les ouvrages compris dans l'enquête était habituellement de 19 mm, puisque à l'époque, on ne considérait pas les garages comme des milieux corrosifs. Bien que l'enrobage moyen ait été généralement supérieur à celui spécifié, on a non seulement relevé que l'enrobage était inadéquat, mais aussi que les écarts dans épaisseur de l'enrobage pouvaient mesurer jusqu'à 100 mm et plus. L'écart type de l'épaisseur d'enrobage fondé sur les lectures de pachomètre était supérieur à 10 mm. L'étude pose comme hypothèse qu'il faudrait sensiblement augmenter l'épaisseur des dalles pour atteindre un taux de conformité de l'ordre de 95 % d'enrobage minimal, compte tenu des tolérances actuelles dans la construction. Par ailleurs, les normes régissant la mise en place doivent être améliorées. (Toute augmentation de l'épaisseur des dalles implique une modification des normes de conception structurales. De manière générale, grâce à l'application d'une membrane d'imperméabilisation, on a pu réduire l'enrobage spécifié de 50 à 40 mm.Voir la norme CSA S413-F94, Ouvrages de stationnement.)

**Joints de déformation :** Dans la majorité des ouvrages examinés, le nombre et l'emplacement des joints de déformation semblaient adéquats. Généralement, la méthode de réalisation du joint, ainsi que le joint proprement dit, étaient toutefois sujets aux désordres. De tels désordres pouvaient avoir des implications structurales importantes en raison de la perte d'appui due à l'effritement. On a trouvé qu'il était primordial d'assurer l'étanchéisation des joints de déformation pour empêcher que l'eau, l'oxygène et les chlorures n'y pénètrent. Les chercheurs ont déterminé que l'emploi de systèmes d'étanchéisation inappropriés, et qu'une exécution déficiente constituaient les deux principaux problèmes. (Les joints de dilatation, même dans les nouveaux ouvrages dotés d'une membrane d'imperméabilisation, posent encore un problème puisqu'ils ont une durée utile qui oscille entre 10 et 15 ans.)

**Qualité du béton :** La résistance du béton ne constitue pas en soi une mesure de sa durabilité. Comme on pouvait s'y attendre, aucun des concepteurs des ouvrages n'avait spécifié une résistance en compression très élevée pour le béton.Toutefois, même si un rapport eau-ciment maximal de 0,45 et un enrobage minimal de 50 mm pourraient augmenter la durée utile des dalles, ces facteurs ne peuvent à eux seuls garantir une longue durée à la dalle. (Les normes actuelles exigent un béton de classe C-1 affichant un rapport eau-ciment de 0,40 et une résistance en compression minimale de 35 MPa à 28 jours.Voir la norme CSA A23.1-94.)

**Teneur en chlorures :** L'analyse des teneurs en chlorures montre que celles-ci étaient deux fois plus élevées que dans les tabliers des ponts d'Amérique du Nord. Les codes du bâtiment en vigueur à l'époque de l'étude permettaient d'ajouter au béton, jusqu'à 2 % en poids du ciment de chlorure de calcium commercial. (La norme CSA S413-F94, Ouvrages de stationnement, ne permet maintenant qu'un pourcentage maximal de 0,06 % de chlorure de calcium en poids du ciment de malaxage.)

**Autres facteurs :** On n'a rien découvert durant l'étude qui indiquait un quelconque écart par rapport aux normes de construction exigées à l'époque, sauf pour les joints de déformation qui souvent n'étaient conformes ni aux règles de l'art ni même aux pratiques normales. Les chercheurs n'ont pas trouvé de preuve dans la charpente, le plancher ou le dimensionnement des éléments qui puisse constituer une cause de détérioration. Le seul élément qui, sujet à d'autres facteurs, pourrait constituer une source de détérioration est celui de l'épaisseur des dalles. Il faut noter que l'emploi d'acier d'armature résistant à la corrosion n'est apparu qu'après la tenue l'étude.

### Réparations

Pour juger de l'efficacité des réparations et des systèmes de protection, il faut mettre en évidence la détérioration survenue depuis les réparations. Bien que l'on ait suggéré qu'entre 0,25 et 1,00 % de la valeur de l'ouvrage doive être mis de côté chaque année pour son entretien et la mise en place de systèmes de protection à la suite de réparations, on estime dans le rapport que cette valeur pourrait atteindre 2 %. (On est d'avis, aujourd'hui, que dans le cas des ouvrages non imperméabilisés, cette valeur pourrait être encore plus élevée, compte tenu de la qualité du béton utilisé et de son entretien.)

Les données tirées des essais sur les ouvrages de la série « D » montrent que les bouche-pores fournissent une bonne protection, mais également qu'ils doivent être renouvelés pour demeurer efficaces. Même si les revêtements asphaltiques ont fourni un tant soi peu de protection dans certains ouvrages, leur perméabilité peut varier de nulle à très élevée : on ne peut donc pas les utiliser en tant que revêtement d'étanchéité. Les enrobages de béton présentent une variabilité tout aussi grande.

Le rapport dont il est question ici ne présente pas de renseignements définitifs relativement à l'efficience des réparations, car on était d'avis qu'il n'existe pas suffisamment d'informations permettant de faire des choix éclairés en fonction du coût global et du rendement. On recommande plutôt de choisir les matériaux les plus adéquats et compatibles en fonction de l'expérience de l'équipe chargée des réparations. (Entre 1995 et 2000, bien que la réparation du béton délaminé soit encore monnaie courante, le remplacement des dalles, ou du moins la première couche de 75 à 100 mm, est devenu de plus en plus fréquent. Cette situation survient en réaction aux coûts élevés des réparations classiques à répétition.)

### Entretien

En 1982, la National Parking Association (NPA) des États-Unis, par l'entremise d'un comité d'ingénieurs et d'autres experts dans le domaine, a élaboré un manuel d'entretien des ouvrages de stationnement. Il s'agit d'un manuel bien rédigé, exhaustif et pertinent dans le contexte des garages de stationnement situés au Canada. Au lieu d'investir davantage de ressources dans cet objectif de l'étude, on a jugé qu'il était plus opportun d'inclure le *NPA Parking Garage Maintenance Manual* dans une annexe. (Ce manuel est toujours d'actualité en 1999-2000.)

## CONSÉQUENCES POUR LE SECTEUR DU LOGEMENT

On a montré dans l'étude que les facteurs suivants contribuaient à la durabilité du béton :

| | |
|---|---|
| Conception : | Béton exempt de fissures<br>Joints de dilatation de bonne qualité<br>Dispositifs adéquats pour tenir compte des déformations<br>Enrobage convenable (environ 40 mm pour les ouvrages exposés)<br>Drainage approprié<br>Air occlus (dans les ouvrages exposés)<br>Systèmes d'imperméabilisation de haute qualité munis d'une couche d'usure<br>Bouche-pores renouvelés périodiquement |
| Construction : | Enrobage uniforme de l'armature<br>Béton de qualité à air occlus, bonne imperméabilité aux chlorures, résistance suffisante et finition soignée<br>Bonnes pentes de drainage<br>Absence de flèches ou de fissuresm résultant de la construction |
| Utilisation : | Faible niveau d'utilisation<br>Entretien<br>Nouvelle application d'un bouche-pores sur les dalles exposées |

Si on porte une attention toute particulière à ces facteurs dans la conception, la construction et l'utilisation des ouvrages de stationnement, leur détérioration s'en trouvera réduite et leur durée utile s'en trouvera prolongée. La norme CSA S413-F94 comporte maintenant des exigences relatives à la conception des ouvrages de stationnement, tandis que la norme CAN/CSA A23.1 présente les exigences relatives aux matériaux en fonction des conditions d'exposition de l'ouvrage.

**Directeur de projet :** Alvin Houston

**Renseignements (SCHL) :** Silvio Plescia

**Consultants pour le projet de recherche :** Trow Ltd.

**Rapport de recherche :** *Détérioration des ouvrages de stationnement : Enquête et analyse de l'étendue et des facteurs contributifs*

**Recherche sur le logement à la SCHL**

Aux termes de la partie IX de la ***Loi nationale sur l'habitation,*** le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets ***Le Point en recherche*** et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web au

**www.schl.ca**

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7
Téléphone : 1-800-668-2642
Télécopieur : 1-800-245-9274

©2001, Société canadienne d'hypothèques et de logement
Imprimé au Canada
Réalisation : SCHL 30-03-07
Révision : 2007

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La Société canadienne d'hypothèques et de logement se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

62624